

Mine Surveying and Geoinformatics

The methods. When designing filters for water intake wells, it is necessary to choose the type of filter and its duty cycle and, as a consequence, the size of the through holes. The main scientific approach in solving this goal was a scientific analysis of the existing production and experimental experience of determining the duty cycle of a tubular filter with round perforation.

Findings. Sanding wells is a consequence of improper selection of filter parameters when designing water wells. More precisely, this is a consequence of the lack of any justification for the filter parameters. Until now, Ukraine has no clearly defined rules and requirements for designing filters for sampling wells, as is the case in most foreign countries. The biggest problem is the absence in the projects of justifying the dimensions of the filter apertures and the composition of the gravel. As a result of the conducted studies it was established that the duty cycle of a tubular filter with round perforation is inversely proportional to the coefficients taking into account the distance between the holes in the vertical and horizontal directions.

The originality. For the first time, the dependence of the duty cycle of filters on the two methods on the coefficients, taking into account the distance between the holes in the vertical and horizontal.

Practical implications. In the well design, all parameters of its filter, the main structural element, should be justified on the water: the type and duty cycle of the filter, its length and diameter, the composition of the gravel and its thickness, the shape and size of the holes. The obtained dependence of the filter duty ratio on the coefficients, taking into account the distance between the holes along the vertical and horizontal lines, will be used for the design of gravel filters of a qualitatively new level.

Key words: gravel filter; tubular filter; duty cycle; round perforation, borehole, gravel dump, filter length, filter diameter.

УДК 004.9:519.8

© Л.С. Коряшкіна, О.О. Михальова, Б.Р. Свіріпа, А.П. Череватенко

ІНТЕРАКТИВНА КАРТА ОПТИМАЛЬНОГО МУЛЬТИПЛЕКСНОГО РОЗБИТТЯ ЗАДАНОГО РЕГІОНУ

© L. Koriashkina, A. Mikhalova, B. Sviripa, A. Cherevatenko

INTERACTIVE MAP OF OPTIMAL MULTIPLEX-PARTITIONING OF A GIVEN REGION

Мета. Розробка інтерактивної карти територіальної сегментації даного регіону на зони обслуговування виділеними сервісними центрами шляхом інтегрування моделей та методів розв'язання неперервних задач оптимального мультиплексного розбиття множин та сучасних ГІС-технологій.

Методика дослідження. Використання теорії і методів оптимального мультиплексного розбиття множин в якості математичного апарату задач територіальної сегментації обмежених регіонів; огляд сучасних геоінформаційних систем; аналіз сучасних підходів щодо застосування ГІС-технологій при розв'язуванні задач оптимального розміщення об'єктів.

Результати досліджень. Наданий огляд функціональних можливостей існуючих геоінформаційних систем і обґрунтований вибір Google Distance Matrix API як ГІС сервіс, що має простий інтерфейс для інтеграції, повертає реальну відстань між точками з урахуванням ситуації на дорогах, матеріальні витрати на використання сервісу мінімально можливі. Показано, що розв'язування неперервних задач оптимального мультиплексного розбиття множин сумісно із ГІС-сервісом дозволяє в мінімально можливий час в режимі он-лайн визначити зони впливу сервісних центрів з урахуванням можливого перекривання цих зон до n -го порядку. Інтерактивна карта може бути використана для дослідження конкурентного середовища торгівельних або сервісних центрів, для оцінки їх потужностей. При цьому ринок товарів чи послуг поділяється на зони впливу, беручи до уваги не тільки найближчих, а й потенційних клієнтів. У випадку, коли найближчий центр не має можливості надати послугу клієнту, останній може бути обслугований центром, що є другим або третім за відстанню. Представлений підхід до територіальної сегментації не є дуже витратним і не потребує детального аналізу отриманих зон.

Наукова новизна. Описаний процес створення інтерактивної карти територіальної сегментації даного регіону. Розглянуті технічні аспекти спільного використання сучасних геоінформаційних технологій та методів розв'язання неперервних задач оптимального мультиплексного розбиття множин, що виникають при вирішенні питань розміщення логістичних або сервісних центрів з одночасною сегментацією регіону на їх сфери обслуговування.

Практичне значення. Розроблена інтерактивна карта дає можливість швидко візуалізувати сфери обслуговування спеціалізованих сервісних центрів в режимі он-лайн, охоплюючи не тільки найближчих, але й потенційних, беручи до уваги можливість побудови зон до третього порядку за критерієм мінімальної відстані. Це дозволить особам, які приймають рішення про відкриття нового сервісного центру, оцінити можливі місця розташування нових центрів, вибрати з них найкраще, наприклад, з рівномірним навантаженням на всі сервісні центри.

Ключові слова: зони обслуговування, територіальна сегментація, неперервні задачі оптимального мультиплексного розбиття множин, геоінформаційні системи та технології

Вступ. Під оптимальним мультиплексним розбиттям обмеженої множини з простору E_n розуміється розділення її на такі підмножини точок, кожна з яких відповідає (за певним критерієм) одному й тому ж набору k центрів з N заданих ($k < N$) [1]. Частіше за все критерієм оптимальності розбиття є або мінімізація сумарної зваженої відстані від центрів до всіх точок, що їм відповідають, або оптимізація найгіршого варіанту, коли мінімізується максимальна відстань від будь-яких k центрів до найвіддаленішої від них точки відповідної підмножини [2,3].

Задачі оптимального мультиплексного розбиття множин (ОМРМ) ставляться в різних постановках: з фіксованими центрами або з їх розташуванням, при наявності обмежень на потужності центрів або відсутності таких. На сьогодні розроблене математичне і програмне забезпечення для розв'язання задач ОМРМ, в яких при формулюванні критерія якості розбиття використовуються відомі аналітичні вирази для відстані між будь-якими двома точками множини (манхеттенська, евклідова метрика, метрики Мінковського та Чебишева). В [4] показано, що результатом розв'язання багатьох задач оптимального мультиплексного розбиття обмежених множин з простору E_n є діаграми Вороного вищих порядків та різні їх узагальнення.

При математичному моделюванні проблем територіальної сегментації заданих регіонів у вигляді задач ОМРМ з розміщенням центрів можна враховувати не лише транспортні, але й виробничі витрати, пов'язані з будівництвом самих центрів, враховувати такі економічні фактори, як стан ринку, потужності сервісних центрів, ставки заробітної плати, наявність джерел сировини, вартість їх освоєння. Такі моделі задач територіальної сегментації дозволяють отримувати перекриття сервісних зон, що в більшій мірі відповідають реальності, наприклад, в порівнянні з моделями, які визначають зони як просторові монополії.

Як зазначено в [5], задачі оптимізації, що виникають при математичному моделюванні в транспортній логістиці, відрізняються специфікою, пов'язаною з різномірністю і географічним розташуванням об'єктів дослідження. В ряді випадків такі задачі не можуть бути ефективно розв'язані за допомогою класичних методів, що обумовлює необхідність розробки методики їх чисельного розв'язування в ситуаціях, коли побудова точного розв'язку виявляється проблематичною.

Стан питання. В даний час в світі існує багато ГІС, що відносяться до розряду повнофункціональних, основні функції яких пов'язані із створенням, візуалізацією та аналізом карт. Найбільш потужними в світі є ArcGIS, MapInfo, Autodesk Map, GeoMedia, ERDAS Imagine, IndorGIS, ГеоГраф, Карта-2000 та ін.

Більшість сучасних ГІС має модульну архітектуру. ГІС має деякий ядро, що забезпечує тільки мінімальну функціональність (відображення карт, підтримку основних моделей даних, деякі функції просторового аналізу) і надає можливість розширення функцій, підключаючи додаткові модулі.

Побудова зон близькості (діаграми Вороного) є функціональною можливістю лише ArcGIS, MapInfo, Autodesk Map і IndorGIS, а зважені зони близькості можуть бути побудовані тільки в IndorGIS. Ці ГІС розширені також функціями мережевого аналізу (пошук найкоротшого шляху, оптимального порядку обходу графа, розрахунок доступності транспортних зв'язків, потоків та інше). Хоча ці ГІС мають в своєму арсеналі і функцію розрахунку зон обслуговування, врахування обмежених потужностей сервісних центрів, або оптимальне розміщення останніх ГІС забезпечити сьогодні не можуть.

Тому вирішення питань, пов'язаних з інтеграцією сучасних геоінформаційних технологій і методів розв'язання завдань оптимального розміщення логістичних або сервісних центрів з одночасною сегментацією області на зони обслуговування, є актуальним напрямком сучасних наукових досліджень.

Докладний огляд сучасних ГІС-технологій в контексті можливості застосування їх при розв'язанні неперервних задач ОМРМ наведений в [6,7]. Серед останніх публікацій, на думку авторів найбільш цікавих стосовно використання ГІС в маркетингових та соціальних дослідженнях, при вирішенні логістичних, урбаністичних проблем, слід зазначити [8 – 18] та інші.

В [8] розглядається проблема конкурентного розміщення об'єкта з передбаченням, враховуючи обмеження на дистанцію обслуговування. Передбачається, що клієнти розглядатимуть лише об'єкти на певній відстані. ГІС викорис-

товується для візуалізації розташування об'єкта та зони обслуговування для інтуїтивної інтерпретації отриманого розв'язку.

Оптимізації майданчика для об'єкта біомаси з багатокритеріальною оцінкою та із залученням ГІС в контексті поновлюваних джерел енергії присвячена робота [9].

В [10] запропонована автономна GIS платформа, GIS-FLSolution для вирішення проблеми розміщення статичних та транспортних об'єктів. цю проблему. В поєднанні з індивідуальними алгоритмами STFLS, платформа побудована на MapObjects і може успішно надавати результати з дружнім графічним інтерфейсом користувача.

В [11] розроблена багатокритеріальна оптимізаційна модель, що називається p -розподіленою задачею максимального покриття. Для більш точних оцінок потреб у цих моделях використовуються власні демографічні та споживчі дані. Методологія була застосована в регіоні Баварія, Німеччина, для вирішення проблеми вибору розважального сайту.

Модифікацію класичної проблеми p -медіани, яка враховує просторовий розподіл ресурсів постачання та конкуренцію між потенційними об'єктами, представлено в [12]. Ця модель проілюстрована у спрощеному прикладі для оптимального визначення анаеробних перетворювачів на місцевому рівні в певному районі Великобританії.

Роботу [13] присвячено вирішенню проблем вибору місця та оптимізації міських об'єктів гірничодобувної промисловості Китаю (пілотних міських експериментальних баз) з використанням ГІС. Дослідження ілюструє процес оптимізації міських об'єктів утилізації вторинної переробки в цілому.

Дослідження [14] оцінює розташування велосипедних станцій (за програмою обміну велосипедами) в невеликому колумбійському місті на основі розташування користувачів системи. Тут показані дві альтернативи для кращого розуміння того, як вказана програма може бути добре спланованою та консолідованою.

В [15] представлений аналіз та обговорення плану ефективного розміщення закладів довгострокового догляду за престарілими з використанням геоінформаційних даних про розподіл комунальних щоденних довгострокових послуг та засобів тривалого лікування для пацієнтів з деменцією і людей похилого віку в місті Ніїгата, з урахуванням майбутніх демографічних показників та терміну служби об'єктів.

Побудові ієрархічної мережі розгортання невідкладних об'єктів для зменшення шкідливості міських небезпечних об'єктів за допомогою ГІС присвячена робота [16].

Застосування ГІС-технологій та методів розв'язування задач розміщення-розподілу для оптимізації збору сміття і переробки відходів продемонстроване в роботі [17].

Наскільки математично зважені, загальнодоступні, відповідні демографічні дані можуть бути інтегровані з геоінформаційними системами для визначення

та оцінки потенційних місць для нових закладів первинної медичної допомоги, показано в роботі [18].

На відміну від [6,7], де вперше методи розв'язання задач ОМРМ застосовані для задач територіальної сегментації, а програмна реалізація алгоритмів передбачає звернення до бібліотеки Google Maps Distance Matrix API для пошуку найкоротшого шляху між будь-якими двома точками регіону, **метою даної роботи є розробка програмного забезпечення, за допомогою якого можна було б в інтерактивному режимі візуалізувати зони обслуговування сервісних центрів при черговому розміщенні (або видаленні) певного центру в певній точці заданого регіону.**

Постановка задачі. Основні вимоги до ПЗ. Під інтерактивною картою оптимального мультиплексного розбиття будемо розуміти інтернет-ресурс у вигляді карти заданого регіону, на якій умовними позначеннями відображаються сервісні центри, а також зони їх обслуговування з найближчими за відстанню клієнтами, при цьому враховується можливе перекриття зон до k -го порядку включно.

Під час проектування інтерактивної карти висунуті наступні функціональні вимоги.

1. Користувач може самостійно задавати місця розташування центрів, якщо їх координати відомі заздалегідь (наприклад, коли мають справу з мережею існуючих установ або структурних підрозділів, що надають певну послугу, для оцінки зони впливу кожного з них). Отже, інтерфейс програми має надавати користувачу можливість додавати та видаляти центри в обраному регіоні.

2. Користувачу надається можливість обирати порядок розбиття множини при відображенні результатів.

3. Обчислення найкоротших шляхів між будь-якими точками регіону має здійснюватися за допомогою віддаленого ГІС-сервісу.

4. Розбиття регіону k -го порядку має бути побудоване за мінімальний можливий час в он-лайн режимі при кожній зміні набору центрів.

5. Для оптимізації наступних сесій роботи користувача його налаштування та результати попередніх розрахунків повинні зберігатися.

6. При побудові мультиплексного розбиття регіону мають бути враховані дані про густоту розподілення клієнтів на території, потужність сервісних центрів.

7. У випадку відкриття нового центру існуючої мережі, або створення нової мережі сервісних підприємств координати розташування останніх можуть бути визначені оптимально (за критерієм мінімальної сумарної зваженої відстані від клієнтів до центрів їх обслуговування) в режимі он-лайн.

Зазначимо наперед, що у створеній на даний час інтерактивній карті оптимального мультиплексного розбиття м. Дніпра реалізовано лише перші п'ять пунктів. Робота над рештою вимог триває.

Математичні основи територіальної сегментації регіону. Наведемо стисло постановку неперервної задачі оптимального мультиплексного розбиття

множини, аналітичний розв'язок якої використовується під час побудови мультиплексного розбиття у функціонуючій на даний момент інтерактивній карті.

Нехай Ω – обмежена, вимірنا за Лебегом замкнена множина у просторі E_2 , $\tau_i = (\tau_i^{(1)}, \tau_i^{(2)}) \in \Omega$, для всіх $i = 1, \dots, N$, – деякі точки, що зветься «центрами».

Введемо наступні позначення: $N = \{1, 2, \dots, N\}$ – множина всіх індексів заданих центрів; $M(N, k)$ – множина всіх k -елементних підмножин множини N , $|M(N, k)| = C_N^k = L$; $\sigma_l = \{j_1^l, j_2^l, \dots, j_k^l\}$, $l = \overline{1, L}$, – елементи множини $M(N, k)$. З кожним елементом σ_l множини $M(N, k)$ пов'яжемо деяку підмножину Ω_{σ_l} точок із Ω , $l = 1, 2, \dots, L$, а з підмножиною Ω_{σ_l} – набір центрів $\{\tau_{j_1^l}, \tau_{j_2^l}, \dots, \tau_{j_k^l}\}$.

Нехай $\Sigma_{\Omega}^{N, k}$ – клас всіх можливих **розбиттів k -го порядку** множини Ω на її підмножини $\Omega_{\sigma_1}, \Omega_{\sigma_2}, \dots, \Omega_{\sigma_L}$, що не перетинаються:

$$\Sigma_{\Omega}^{N, k} = \overline{\omega} = \left\{ \left\{ \Omega_{\sigma_1}, \Omega_{\sigma_2}, \dots, \Omega_{\sigma_L} \right\} : \bigcup_{i=1}^L \Omega_{\sigma_i} = \Omega, \sigma_i \in M(N, k), \right. \\ \left. \text{mes}(\Omega_{\sigma_i} \cap \Omega_{\sigma_j}) = 0, i \neq j, i, j = 1, \dots, L \right\}.$$

Задача А1- k . $F(\{\Omega_{\sigma_1}, \Omega_{\sigma_2}, \dots, \Omega_{\sigma_L}\}) \rightarrow \min_{\{\Omega_{\sigma_1}, \Omega_{\sigma_2}, \dots, \Omega_{\sigma_L}\} \in \Sigma_{\Omega}^{N, k}},$

$$F(\{\Omega_{\sigma_1}, \Omega_{\sigma_2}, \dots, \Omega_{\sigma_L}\}) = \sum_{l=1}^L \int_{\Omega_{\sigma_l}} \sum_{i \in \sigma_l} (c(x, \tau_i) / w_i + a_i) \rho(x) dx, \quad (1)$$

де $x = (x^{(1)}, x^{(2)}) \in \Omega$; $\tau_i \in \Omega$; функції $c(x, \tau_i)$ – обмежені, визначені на $\Omega \times \Omega$, вимірні по аргументу x при будь-якому фіксованому τ_i із Ω для всіх $i = 1, \dots, N$; координати $\tau_i^{(1)}, \tau_i^{(2)}$ центру τ_i , $i = 1, \dots, N$, фіксовані; $\rho(x)$ – обмежена, вимірна, невід'ємна на множині Ω функція; $w_i > 0, a_i \geq 0, i = \overline{1, N}$, – задані числа.

Метод розв'язання задачі **А1- k** передбачає редукцію до еквівалентної задачі, сформульованої відносно характеристичних вектор-функцій $\lambda^l(x) = (\lambda_1^l(x), \dots, \lambda_N^l(x))$, $l = \overline{1, L}$, підмножин Ω_{σ_l} , $l = \overline{1, L}$, що складають розбиття k -го порядку множини Ω :

$$\lambda_i^l(x) = \begin{cases} 1, & x \in \Omega_{\sigma_l} \text{ \& } i \in \sigma_l, \\ 0 & \text{в протилежному випадку,} \end{cases} \quad i = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}, \forall x \in \Omega_{\sigma_l}.$$

Задача В- k . Знайти $\min_{(\lambda(\cdot), \tau^N) \in \Gamma_0^k \times \Omega^N} \int_{\Omega} \left(\sum_{l=1}^L \left(\sum_{i=1}^N (c(x, \tau_i) / w_i + a_i) \lambda_i^l(x) \right) \right) \rho(x) dx,$

де

$$\Gamma_0^k = \left\{ \lambda^l(\cdot) = (\lambda_1^l(\cdot), \dots, \lambda_N^l(\cdot)) : \lambda_i^l(x) = 0 \vee 1 \quad \forall x \in \Omega, i = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}, \right. \\ \left. \sum_{i=1}^N \lambda_i^l(x) = k, l = \overline{1, L}, \text{ м.в. для } x \in \Omega \right\}.$$

В [4] показано, що оптимальний розв'язок задачі **B2-k** має наступний вигляд: для $i = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}$ і майже всіх $x \in \Omega$

$$\lambda_{*i}^l(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } c(x, \tau_{*i})/w_i + a_i \leq c(x, \tau_{*j})/w_j + a_j, \\ & i \in \sigma_l, j \in N \setminus \sigma_l \\ 0 & \text{в інших випадках.} \end{cases}$$

Зауваження. У функціоналі (1) задачі **A1-k** передбачено врахування таких регіональних особливостей, як щільність населення в регіоні, що розглядається, або попит на послуги – функція $\rho(x)$; привабливість центрів для клієнтів в термінах одного чи більше атрибутів (наприклад, ціна, розмір, паркування, відгуки про діяльність, тощо) – вага $w_i > 1, i = 1, 2, \dots, N$; додаткові втрати, пов'язані з рекламою, будівництвом нового центру або нових комунікацій – константи a_i .

Технічні аспекти створення інтерактивної карти мультиплексного розбиття. Проаналізувавши вимоги до створюваного програмного продукту, виділені такі етапи роботи і такі припущення щодо реалізації програми:

- для зручності експлуатації користувач мусить працювати з мапою як для введення вхідних даних, так і для отримання кінцевих результатів, отже програма має використовувати публічний SDK для побудови мап;
- програма має зберігати результати попередніх розрахунків, тому обчислювальний модуль має використовувати базу даних;
- обчислювальний модуль повинен бути інтегрований до віддаленого ГІС сервісу, а отже, підключений до мережі інтернет під час своєї роботи;
- для оптимізації розрахунків обчислювальний модуль повинен працювати незалежно від кінцевої програми, яку використовує користувач. А це означає, що результати розрахунків одного користувача можуть бути використані для розрахунків іншого користувача.

Модель даних. Користувач оперує такими типами даних:

- зона обчислення – регіон чи місто, територія якого сегментується;
- елемент регіону – під час користування зона обчислення підлягає дискретизації (крок сітки дискретизації вибирається користувачем). Точка у центрі елементу регіону використовується для розрахунку відстаней між точками цього елементу та сервісними центрами;
- центр – точка на мапі, яка є сервісним центром.

База даних програми зберігає доступні користувачам зони обчислення в окремій таблиці “Zones”. Налаштовані користувачем елементи регіони та центри у обраній зоні обчислення містяться в таблиці “Computations”.

Кожен запис у таблиці “Zones” має такі властивості: *Id* – унікальний ідентифікатор зони; *Назва* – стрічка довільного розміру (наприклад, “Дніпро”); *Криві полігону* – двомірний масив довільного розміру, що містить координати кривих, з яких складається полігон цієї зони.

Кожен запис у таблиці “Computations” має такі властивості: *Id* – унікальний ідентифікатор запису розрахунків; *Центри* – масив словників, що представляють собою координати центрів налаштованих користувачем (також ці словники зберігають унікальний ідентифікатор центру); *Елементи регіону* – масив словників, що містить координати центрів регіонів, сформованих користувачем. Також ці словники зберігають унікальний ідентифікатор елементу регіону та відстані до центрів.

Отримана модель даних реалізована в NoSQL базі даних. NoSQL – термін, який об’єднує ряд підходів, спрямованих на реалізацію сховищ баз даних, що мають суттєві відмінності від моделей, використовуваних в традиційних реляційних СКБД з доступом до даних засобами мови SQL. Як відомо, NoSQL застосовується до баз даних, в яких робиться спроба вирішити проблеми масштабованості та доступності за рахунок атомарності й узгодженості даних.

Схематичне зображення отриманої моделі даних наведено на рис. 1.

В якості СКБД програми використана NoSQL система керування базами даних (СКБД) MongoDB – документ орієнтована СКБД з відкритим вихідним кодом, яка не потребує опису схеми таблиць; класифікована як NoSQL, використовує JSON-подібні документи і схему бази даних.

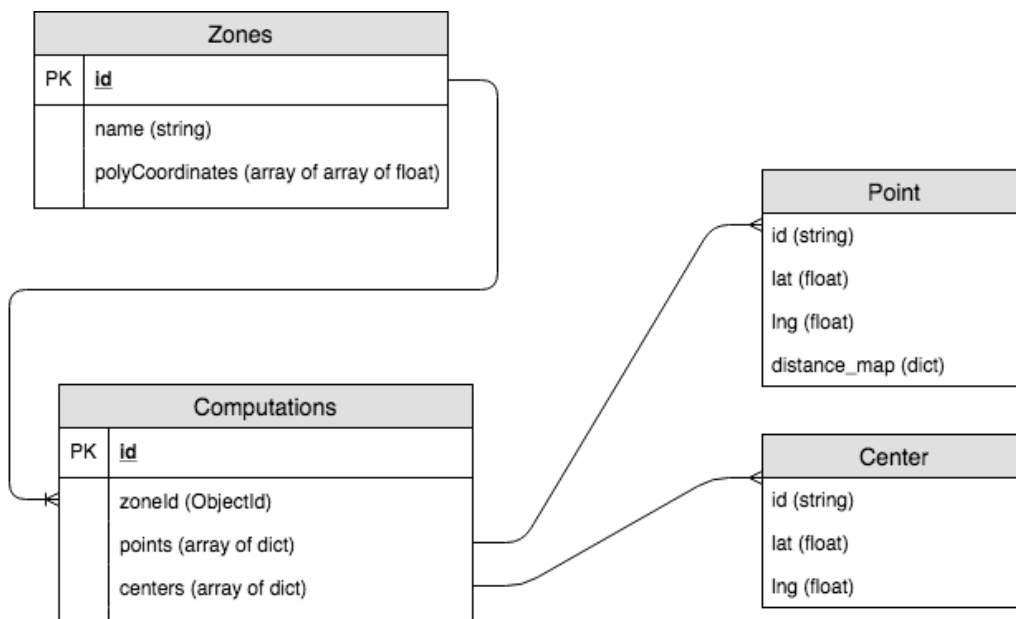


Рис. 1. Схематичне зображення моделі даних програми

Програмна реалізація. Сформульовані вимоги ставлять завдання написання програми з інтуїтивно зрозумілим для користувача інтерфейсом і швидкодіючим обчислювальним модулем. Мовою програмування для реалізації обчислювального модуля програми обрано Ruby – динамічну, рефлексивну, що інтерпретується високорівневою, мову програмування, яка має велику кількість додатків, що знаходяться у вільному доступі. Обчислювальний модуль розроблений у вигляді веб серверу, оформлений відповідно до стандартів REST.

Для розрахунку відстаней між центрами та точками регіону використовується віддалений ГІС сервіс. Запити до цього сервісу реалізовані за допомогою HTTP протоколу. Враховуючи можливу кількість таких запитів і потребу у інтуїтивно зрозумілому інтерфейсі користувача використовується програмний компонент Sidekiq – сервіс черги повідомлень, який надає можливість робити запити до ГІС паралельно, а не один за одним. Також в технологічний стек включено компоненту Redis – тимчасове сховище даних.

Мовою програмування для реалізації програми інтерфейсу користувача обрано JavaScript. Дана мова дозволяє будувати веб-додатки інтуїтивно зрозумілі для користувачів, а також є сумісною з усіма публічними SDK для побудови мап. В якості фреймворка обраний React, який дозволяє швидко розробляти ефективні та інтуїтивно зрозумілі для користувачів веб-додатки.

Отриманий технологічний стек програми у вигляді UML-діаграми зображений на рис. 2.

ГІС сервісів для розрахунку відстаней. Як і в роботах [6, 7], інтерактивної карти розбиття також використовує Google Distance Matrix API як ГІС сервіс, що має наступні переваги у порівнянні з іншими: має простий інтерфейс для інтеграції; повертає реальну відстань між точками з урахуванням ситуації на дорогах; матеріальні витрати на використання сервісу мінімально можливі.

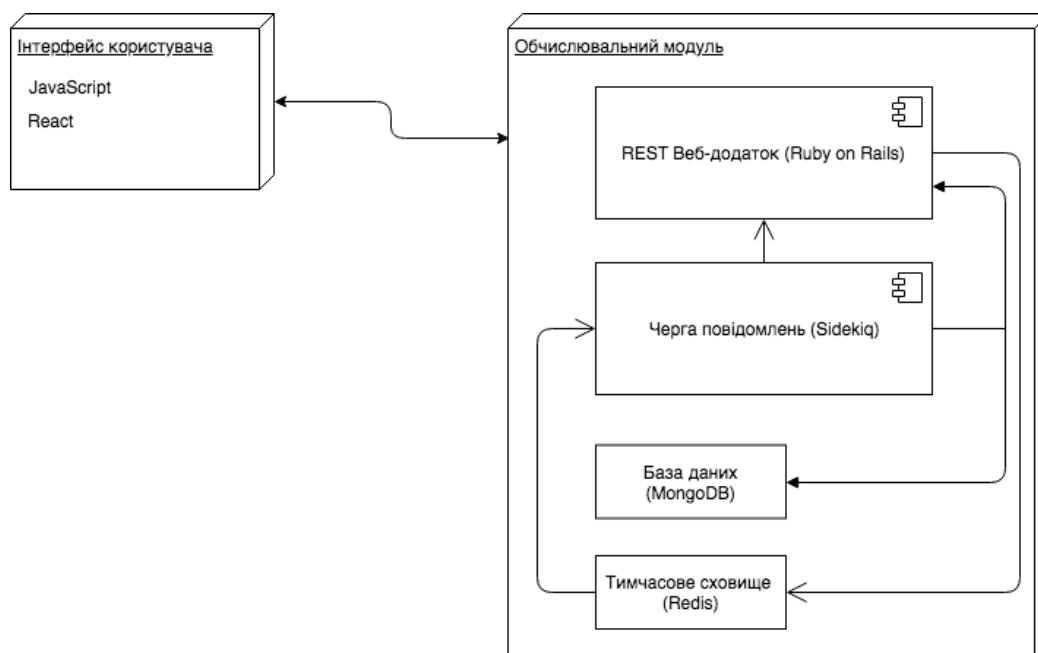


Рис. 2. UML діаграма обраного стеку програми

Результати роботи програми. При відкритті веб інтерфейсу програма робить запит на отримання поточної зони обчислення та будує полігон цієї зони на мапі. На рис. 3 зображено приклад побудови зони обчислення (м. Дніпро) на мапі. Полігон –границі м. Дніпро – зображено чорною лінією. Тут представлений і результат дискретизації регіону з кроком h , налаштованим користувачем. За замовчуванням $h = 0.01$ градусів. Отримане дуплексне оптимальне розбиття для заданих 15 центрів представлено на рис. 4.

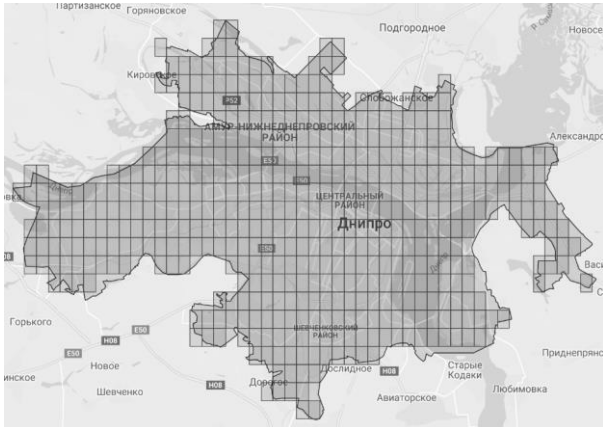


Рис. 3. Приклад побудови зони обслуговування (м. Дніпро)

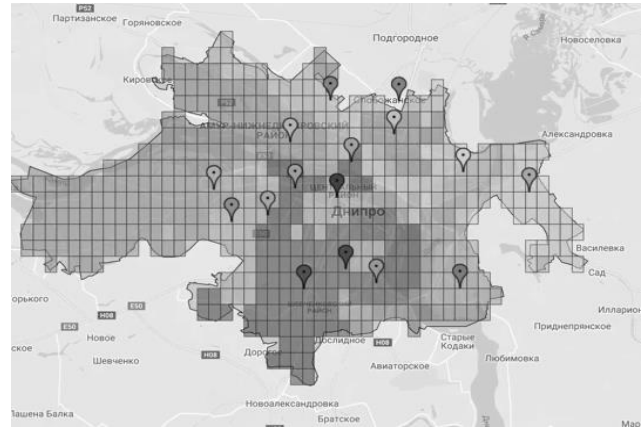


Рис. 4. Результат оптимального розбиття: 2-го порядку

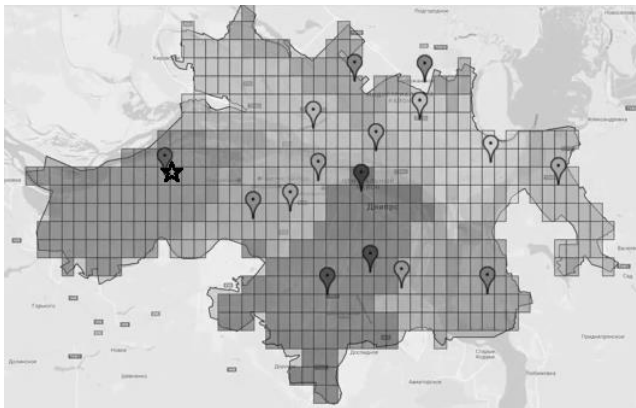


Рис. 5. Зміна зон 1-го порядку за рахунок додавання центру

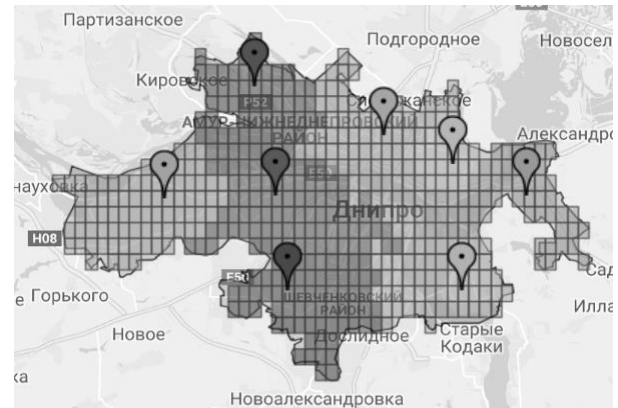


Рис. 6. Оптимальное розбиття 1-го порядку для восьми центрів



Рис. 7. Зони впливу для виділеного центру з можливим перекриттям зон до третього порядку

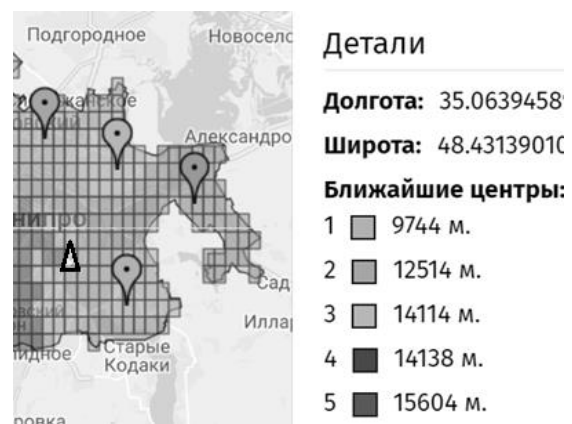


Рис. 8. Найближчі (з восьми існуючих) центри для виділеної точки

На рис. 5 відображений вигляд розробленої інтерактивної карти територіальної сегментації м. Дніпра на зони впливу (без перекриття) сервісних центрів, розташованих в точках із заданими географічними координатами.

Розроблена інтерактивна карта може використовуватися при діагностиці конкурентного середовища сервісних центрів, для оцінювання їхніх можливостей, при поділі ринку послуг на зони впливу з урахуванням не тільки найближчих клієнтів, але й потенційних, які можуть скористатися послугами певних центрів у випадку, коли найближчий до них не має змогу надати послугу. Так, на рис. 6 можна оцінити зони обслуговування кожного центру з урахуванням лише їх найближчих клієнтів, а на рис. 7 можна спостерігати, наскільки для виділеного центру збільшилася зона за рахунок можливого перекриття зон до третього порядку.

Для кожної точки міста також можна вивести впорядковану за відстанню множину усіх центрів (рис. 8).

На даний момент інтерактивна карта дозволяє особам, які приймають рішення щодо відкриття (або закриття) нового центру сервісного обслуговування (при певній кількості існуючих) оцінити візуально можливі місця розташування нових центрів, вибрати серед них найкращі, враховуючи реальні транспортні розв'язки та під'їзні шляхи для кожної точки області, що розбивається.

Подальше удосконалення програмного забезпечення передбачає оптимальне розміщення центрів з якомога рівномірним на них навантаженням, враховуючи демографічні, соціальні, поведінкові та інші критерії, а також можливі додаткові витрати на будівництво як самих центрів, так і їх власних комунікацій.

Висновки. Отже, в роботі представлена інтерактивна карта територіальної сегментації міста Дніпра на зони обслуговування сервісними центрами, створена на основі інтеграції сучасних ГІС-технологій та методів розв'язування неперервних задач оптимального мультиплексного розбиття множин. *Розроблена інтерактивна карта може використовуватися при діагностиці конкурентного середовища сервісних центрів, для оцінювання їхніх можливостей, при поділі ринку послуг на зони впливу з урахуванням не тільки найближчих клієнтів, але й потенційних, які можуть скористатися послугами певних центрів у випадку, коли найближчий до них не має змогу надати послугу.*

Цільовою аудиторією користувачів інтерактивної карти, що розроблена і удосконалюється, можуть бути особи, які приймають рішення щодо відкриття нових центрів сервісного обслуговування, *оцінити можливі місця розташування нових центрів, вибрати з них найкращі, наприклад, з якомога рівномірним навантаженням на всі сервісні центри.*

Представлений в роботі підхід до територіальної сегментації регіону дозволяє візуалізувати наближення реальних зон обслуговування сервісних центрів швидко і без великих витрат, без необхідності проведення детальної експертизи зон впливу центрів з боку аналітика.

Надалі при вдосконаленні математичних моделей задач оптимального розміщення логістичних або соціальних центрів на заданій території з одночас-

ним її зонуванням принцип територіальної сегментації може бути доповнений демографічними, соціальними, поведінковими і іншими критеріями. Крім того, цікавою з точки зору математичного опису і широко розповсюдженою на практиці виявляється задача вибору серед функціонуючих центрів центру для закриття.

Перелік посилань

1. Коряшкіна, Л.С. (2015). Розширення одного класу нескінченновимірних оптимізаційних задач. *Вісн. Черкаського ун-ту. Сер. Прикл. матем. Інф.*, 18 (351), 28 – 36.
2. Koriashkina, L.S., & Cherevatenko, A.P. (2015). Continuous problems of optimal multiplex-partitioning of sets without constraints and solving methods. *Journal of Computational & Applied Mathematics*, 2 (119), 15 – 32.
3. Михальова, О. (2015). Про зв'язок задач оптимізації багатократного кульового покриття обмежених множин та їх мультиплексного розбиття. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології*, 826, 266-273.
4. Коряшкіна, Л.С., & Череватенко, А.П. (2016) Оптимальные диаграммы Вороного высших порядков ограниченных множеств и алгоритмы их построения. *Вісн. Черкаського ун-ту. Сер. Прикл. матем. Інф.* 1-2, 59 – 75.
5. Казаков, А.Л., Лемперт, А.А., & Бухаров, Д.С. (2013) К вопросу о сегментации логистических зон для обслуживания непрерывно распределенных потребителей. *Автоматика и телемеханика*, 6, 87 – 100.
6. Коряшкіна Л.С., Одновол, Н.Н., Череватенко, А.П., & Михалева, А.А. (2017). Моделирование зон сервисного обслуживания заданной территории. *Вісник ХНТУ*, 3(62), Т. 2, 109 – 118.
7. Коряшкіна, Л.С., Череватенко, А.П., Коряшкіна, Е.О. (2017) Інтеграція ГІС-технологій і методів розв'язання неперервних задач оптимального мультиплексного розбиття множин. *Системні дослідження та інформаційні технології*, 4, 97 – 108.
<https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2017.4.08>
8. Mingyao Qi, Mingfei Xia, Ying Zhang, & Lixin Miao. Competitive facility location problem with foresight considering service distance limitations. *Computers & Industrial Engineering*, 112, 483-491. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.024>
9. Jeong, J.S., & Ramírez-Gómez, Á. A. (2017) Multicriteria GIS-Based Assessment to Optimize Biomass Facility Sites with Parallel Environment – A Case Study in Spain. *Energies*, 10(12), 2095. <https://doi.org/10.3390/en10122095>
10. Gu, W., Wang, X., & Geng, L. (2009) GIS-FLSolution: A Spatial Analysis Platform for Static and Transportation Facility Location Allocation Problem. In: Rauch J., Raś Z.W., Berka P., Elomaa T. (eds) *Foundations of Intelligent Systems*. ISMIS 2009. *Lecture Notes in Computer Science*, 5722. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04125-9_48
11. Jeremy North, & Fred L. Miller. (2017). Facility location using GIS enriched demographic and lifestyle data for a traveling entertainment troupe in Bavaria, Germany. *Decision Support Systems*, 99, 30-36. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2017.05.007>
12. Alexis Comber, Jennifer Dickie, Claire Jarvis, Martin Phillips, & Kevin Tansey. (2015). Locating bioenergy facilities using a modified GIS-based location-allocation-algorithm: Considering the spatial distribution of resource supply. *Applied Energy*, 154, 309-316. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.128>
13. Yanyan Xue, Zongguo Wen, Xiaoli Ji, Hans Th. A. Bressers, & Chenkai Zhang. Location Optimization of Urban Mining Facilities with Maximal Covering Model in GIS: A Case of China. *Journal of Industrial Ecology*, 21, 4, 913-923. <https://doi.org/10.1111/jiec.12467>
14. Zuluaga, J.D., Escobar, D.A. & Younes, C. (2018) A GIS approach based on user location to evaluate a bike-sharing program. *DYNA*, 85(204), 257-263.

<https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.67670>

15. Kazumasa, Oguro, & Keisuke Hirakata. (2018) Study on Optimal Location of Long-term Care Facilities— Under the Conditions of a Depopulating and Super-aging Society, with Use of GIS (geographical information system) Data: A case example of Niigata City. *Policy Research Institute, Ministry of Finance, Japan, Public Policy Review*, 14, 1, 53 – 79. https://www.mof.go.jp/english/pri/publication/pp_review/fy2017/ppr14_01_03.pdf
16. Xue Jianga, Jusheng Songa, Yaoyu Lina, & Yongxi Gong. (2018) A practical approach to constructing hierarchical networks for urban hazard mitigation planning using GIS: The case of Futian, Shenzhen. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 629 – 639. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.01.014>
17. Md. Mohib-Ul-Haque Khan, Mahdi Vaezi, & Amit Kumar. (2018) Optimal siting of solid waste-to-value-added facilities through a GIS-based assessment. *Science of The Total Environment*, 610–611, 1, 1065-1075. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.169>
18. Yevgeni Dudko, Dennis E. Robey, Estie Kruger, & Marc Tennant. (2018) Selecting a location for a primary healthcare facility: combining a mathematical approach with a Geographic Information System to rank areas of relative need. *Australian Journal of Primary Health*, 24(2), 130-134. <https://doi.org/10.1071/PY17093>

АННОТАЦИЯ

Цель. Разработка интерактивной карты территориальной сегментации данного региона на зоны обслуживания выделенными центрами путем интегрирования моделей и методов решения непрерывных задач оптимального мультиплексного разбиения множеств и современных ГИС-технологий.

Методика исследования. Использование теории и методов оптимального мультиплексного разбиения множеств в качестве математического аппарата задач территориальной сегментации ограниченных регионов; обзор современных геоинформационных систем; анализ существующих подходов к использованию ГИС-технологий при решении задач оптимального размещения объектов.

Результаты исследований. Представлен обзор функциональных возможностей современных геоинформационных систем и обоснован выбор Google Distance Matrix API как ГИС сервис, который имеет простой интерфейс для интеграции, возвращает реальное расстояние между точками с учетом ситуации на дорогах, и материальные затраты, связанные с его использованием, минимально возможные. Показано, что решение непрерывных задач оптимального мультиплексирования разбиения множеств совместно с ГИС-сервисом позволяет в кратчайшее время в режиме он-лайн определить зоны влияния сервисных центров с учетом возможного перекрытия этих зон до n-го порядка. Интерактивная карта может быть использована для исследования конкурентной среды торговых или сервисных центров, для оценки их мощностей. При этом рынок товаров или услуг делится на зоны влияния с учетом не только ближайших, но и потенциальных клиентов. В этом случае, если ближайший центр не имеет возможности оказать услугу клиенту, последний может быть обслужен центром, который является вторым или третьим по расстоянию. Представленный подход к территориальной сегментации не является очень затратным и не требует детального анализа полученных зон.

Научная новизна. Описан процесс создания интерактивной карты территориальной сегментации данного региона. Рассматриваются технические аспекты совместного использования современных геоинформационных технологий и методов решения непрерывных задач оптимального мультиплексного разбиения множеств, возникающих при решении вопросов размещения логистических или сервисных центров с одновременной сегментацией региона на их сферы обслуживания.

Практическое значение. Разработана интерактивная карта дает возможность быстро визуализировать сферы обслуживания специализированных сервисных центров в режиме он-лайн, охватывая не только ближайших, но и потенциальных клиентов, принимая во внимание возможность построения зон до третьего порядка по критерию минимального расстояния. Это позволит лицам, принимающим решение открыть новый сервисный центр, оценить возможные места расположения новых центров, выбрать из них лучшее, например, обеспечивающее равномерную нагрузку на все сервисные центры.

Ключевые слова: зоны обслуживания, территориальная сегментация, непрерывные задачи оптимального мультиплексного разбиения множеств, геоинформационные системы и технологии

ABSTRACT

Purpose. The designing of an interactive map of the territorial segmentation of a given region into service zones by integrating models and methods for solving continuous problems of optimal multiplex-partitioning of sets and modern GIS technologies.

The methodology of research consists on methods for solving continuous problems of optimal multiplex –partitioning of sets and methods of nondifferential optimization; review of modern geoinformation systems; analysis of modern approaches to the use of GIS technologies in solving optimal location-allocation problems.

Findings. An overview of the geoinformation systems functionalities is presented, it is justified the choice of the Google Distance Matrix API as a GIS service, which has a simple interface for integration, returns the real distance between points based on the situation on the roads, with the minimal using costs. The software, that allows in a minimum possible time interactively determine influence zones of service centers taking into account a possible overlapping of this zones up to the k -th order is developed. The interactive map can be used to research a competitive environment of service centers, to assess their capabilities, when the service market is divided into influence zones, taking into account not only the nearest customers but also potential customers who can refer the certain service center if the nearest one does not have an opportunity to provide service. The presented approach to the territorial segmentation isn't very time and cost-consuming and doesn't require a detailed analysis of an obtained zones.

The originality. The process of creating an interactive map of the territorial segmentation of a given region is described. The technical aspects of the joint use of modern geoinformation technologies and methods for solving continuous problems of optimal multiplexing of sets, which arise in solving the issues of placement of logistic or service centers with simultaneous segmentation of the region into their service areas, are considered.

Practical implications. the developed interactive map provides an opportunity to quickly visualize service areas of dedicated service centers online, indicating not only the closest customers, but also potential, taking into account the possibility of treating zones to the third order by criterion of minimum distance. This will allow those who decide to open a new service center to evaluate the possible locations of new centers, choose from them the best, for example, with as uniform load on all service centers.

Keywords: service areas, territorial segmentation, continuous problems of optimal multiplex-partitioning of sets, geoinformation systems and technologies